



# Lufthansa Cargo

Networking the world.

---

## Technologische Perspektiven der Emissionsreduktion in der Luftfahrt

Volker Gollnick  
DLR – TU Hamburg-Harburg  
Lufttransportkonzepte & Technologiebewertung

Lufthansa Cargo Climate Care Conference  
26. Feb. 2009  
Frankfurt

# Übersicht

---

## ***Technologische Perspektiven der Emissionsreduzierung in der Luftfahrt***

Einführung

Technische Lösungsansätze und Perspektiven  
Neue Materialien und Bauweisen

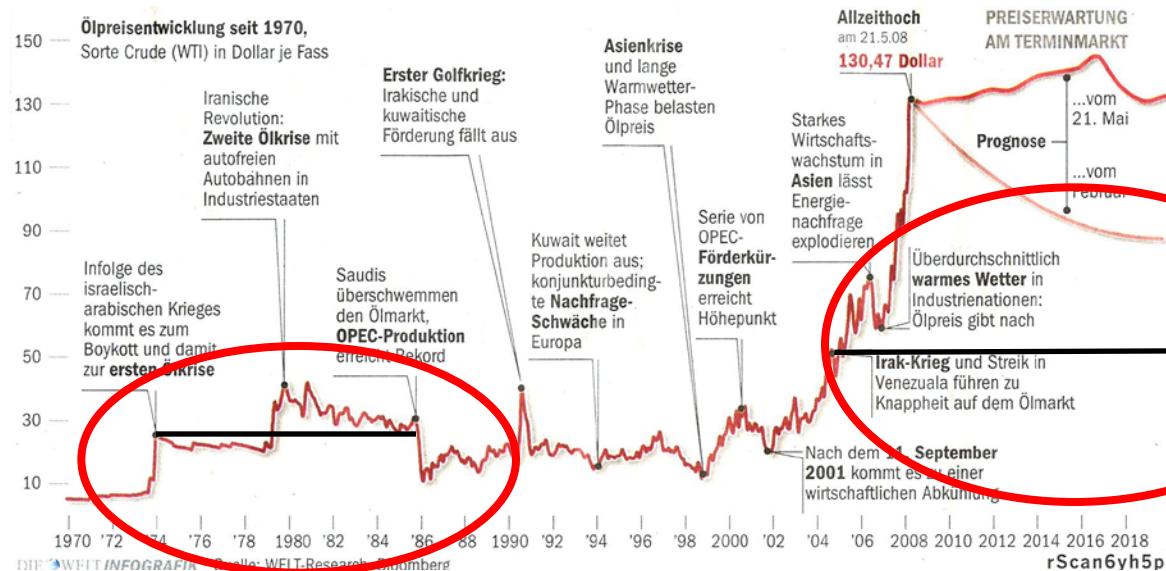
Flugzeugsysteme  
Antriebe

Alternative Kraftstoffe  
Aerodynamik

Zusammenfassung und Ausblick

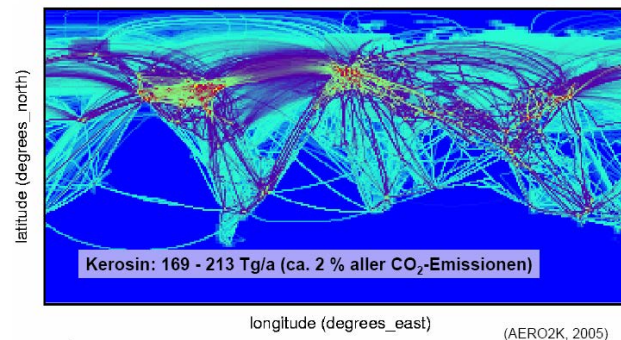
# Einführung – Markt- und Wettbewerbssituation

- ✈️ Luftfahrt und insbesondere Luftfracht werden weiter wachsen, trotz der aktuellen Einbrüche
- ✈️ Das Kardinalproblem der Luftfahrt wird in den stetig und immer stärker steigenden **Kraftstoffkosten** infolge der Verknappung der fossilen Energiequellen liegen



# Einführung – Markt- und Wettbewerbssituation

- ✈ Von der Gesellschaft wird vor allem der **Lärm** des Flugzeugs als Umweltbelastung wahrgenommen.
- ✈ Ein Beitrag der Luftfahrt zu den **Schadstoffemissionen** ist gegeben. Die wirklichen Ausmaße und Auswirkungen sind noch immer schwer einschätzbar.



- ✈ Der **Wettbewerb** der Luftfracht mit Bahn und Schiff wird härter!
  - ✈ Güterzug Hamburg – Shanghai: 17 Tage für 10000km für Fujitsu-Siemens Computerbauteile
  - ✈ Containerschiff: 30-35 Tage
  - ✈ Flugzeug: 3-4 Tage
  - ➔ Die Kosten verhalten sich umgekehrt proportional!



# Einführung - Die “Umweltbibel der Luftfahrt” - Vision 2020

Group of Personalities

  
Pedro Argüelles

  
John Lumsden

  
Manfred Bischoff

  
Denis Ranque

  
Philippe Busquin

  
Søren Rasmussen

  
B.A.C. Droste

  
Paul Reutlinger

  
Sir Richard Evans

  
Sir Ralph Robins

  
Walter Kröll

  
Helena Terho

  
Jean-Luc Lagardère

  
Arne Wittlov

  
Alberto Lina

## Qualität u. Erschwinglichkeit

- o *Reduced passenger charges*
- o *Increased passenger choice*
- o *Transformed freight operations*
- o *Reduced time to market by 50%*

## Umweltforderungen

- o Reduktion der CO<sub>2</sub> –Emissionen um 50%
- o Reduktion der NOx –Emissionen um 80%
- o Reduktion des wahrgenommenen Lärms um 50%
- o Signifikanter Fortschritt in Richtung ‘Grüne Luftfahrt’

## Sicherheit

- o Reduction of accidents rate by 80%
- o Drastic reduction in human error and its consequences

## Effizienz

- o 3X capacity increase
- o 99% of flights within 15' of schedule
- o Less than 15' in airport before short flights
- o Airborne - zero hazard from hostile action
- o Airport - zero access by unauthorised persons or products

## Sicherheit

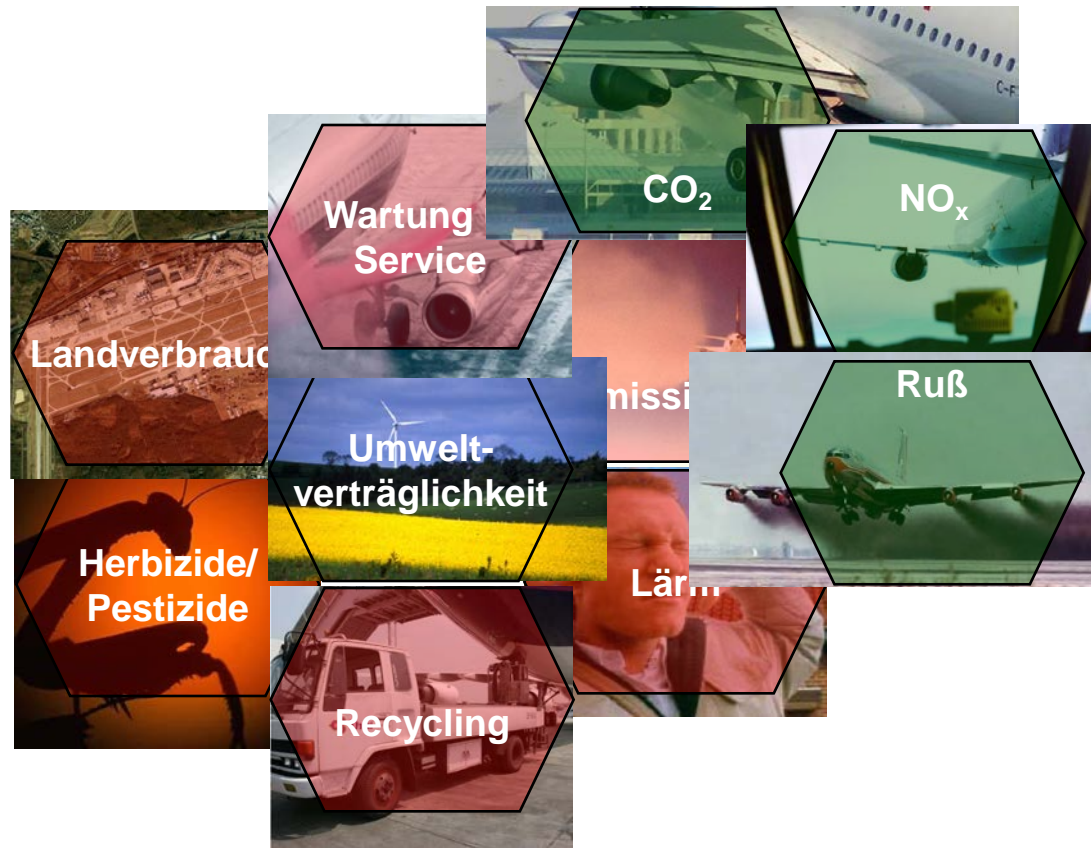
- o Air navigation - No misuse. Safe control of hijacked aircraft

**Referenz: Jahr 2000**



# Einführung - Herausforderungen einer umweltverträglichen Luftfahrt

Umweltverträgliche Luftfahrt umfaßt weit mehr als nur Lärm und Emissionen





# Technische Lösungsansätze und Perspektiven

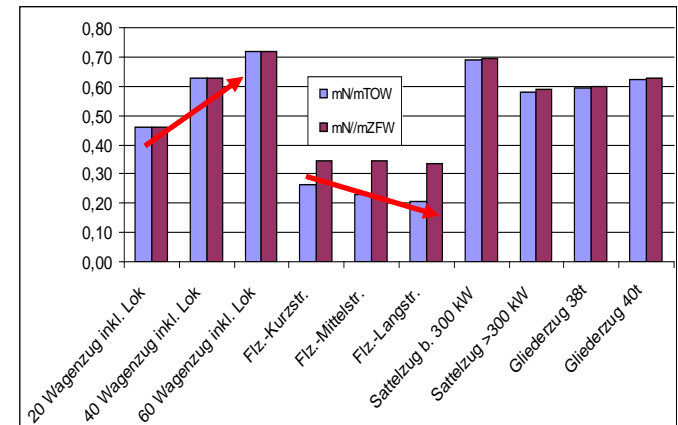
## Verbesserung des Nutzlastanteils am Flugzeuggewicht

Konstruktionsgüte: Anteil der maximalen Nutzmasse an der Bezugsmasse (max. Abfluggewicht bzw. Kraftstoffnullmasse)

$$\eta_{K_{TOM}} = \frac{m_{N_{\max}}}{m_{OEM} + m_{Kr} + m_{N_{\max}}}$$

### Gütertransporte:

- Bahn, Lkw ≥60% Nutzmassenanteil
- Flz ≈ 21-27%



Vergleich des Nutzlastanteils  
verschiedener Verkehrssysteme

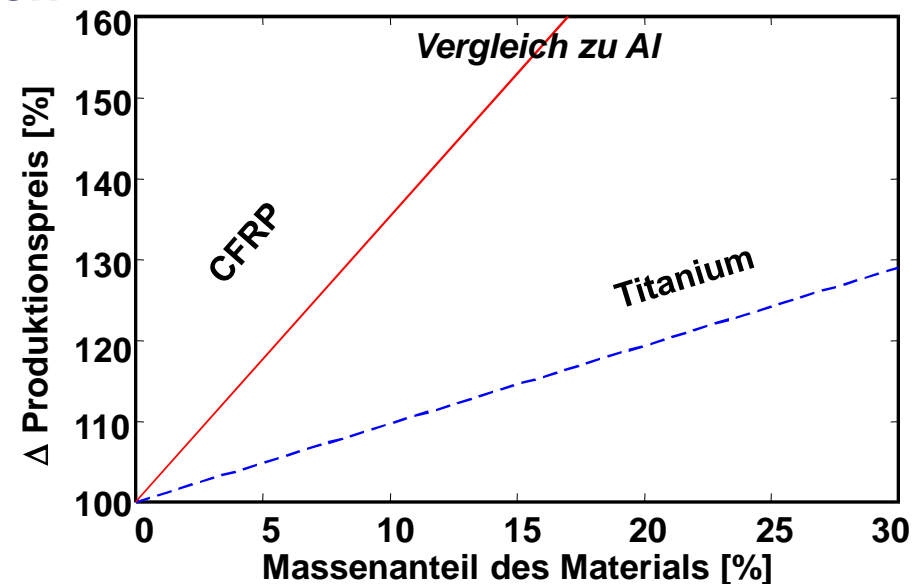
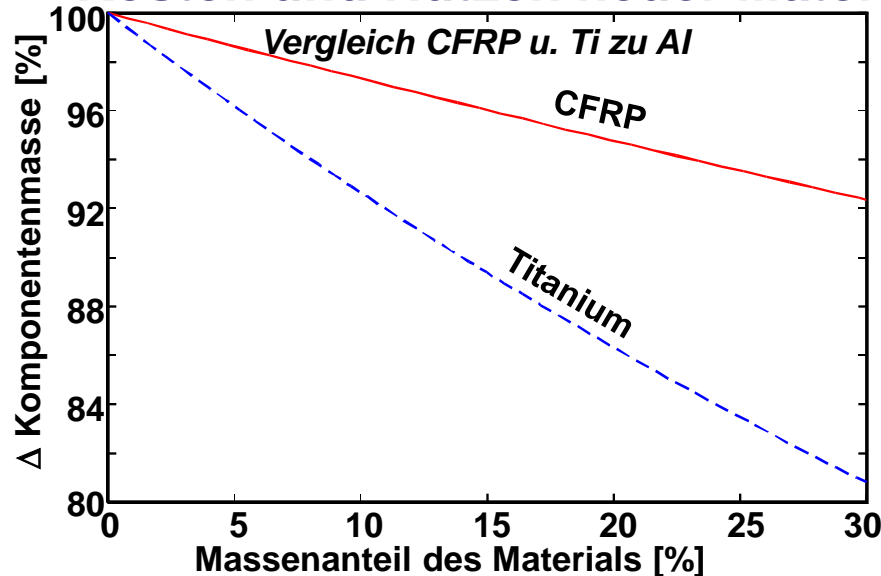
Flugzeug konkurrenzfähig zum Pkw im Passagiertransport

Flugzeug deutlich weniger wirksam als Lkw, Bahn im Gütertransport

Das Flugzeugleergewicht muß weiter reduziert werden, um im Energiebedarf und den Emissionen wettbewerbsfähiger zu werden

# Technische Lösungsansätze und Perspektiven

## Kosten und Nutzen neuer Materialien



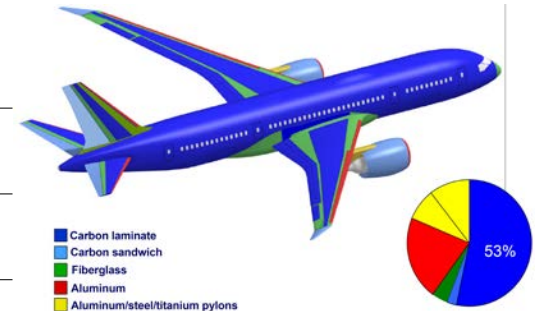
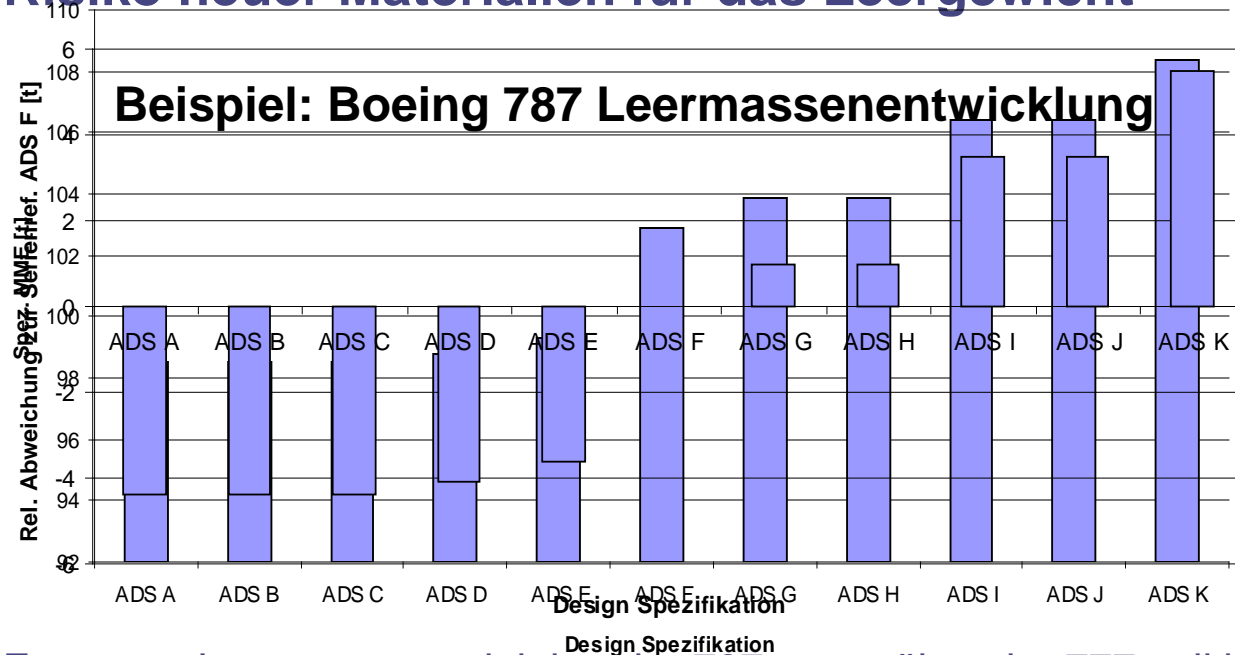
### Massenreduktion auf Komponentenebene

Mit zunehmendem **Anteil von CFK und Titan** an der Leermasse **reduziert** sich das **Gewicht** bei Titan im Verhältnis ca. 30% Anteil zu 20% Massenreduktion, CFK ca. 30% Anteil zu 8% Massenreduktion  
Gleichzeitig **erhöhen** sich die **Produktionskosten** um etwa 30% (Titan) bzw. bis zu 100% (CFK)!!



# Technische Lösungsansätze und Perspektiven

## Risiko neuer Materialien für das Leergewicht



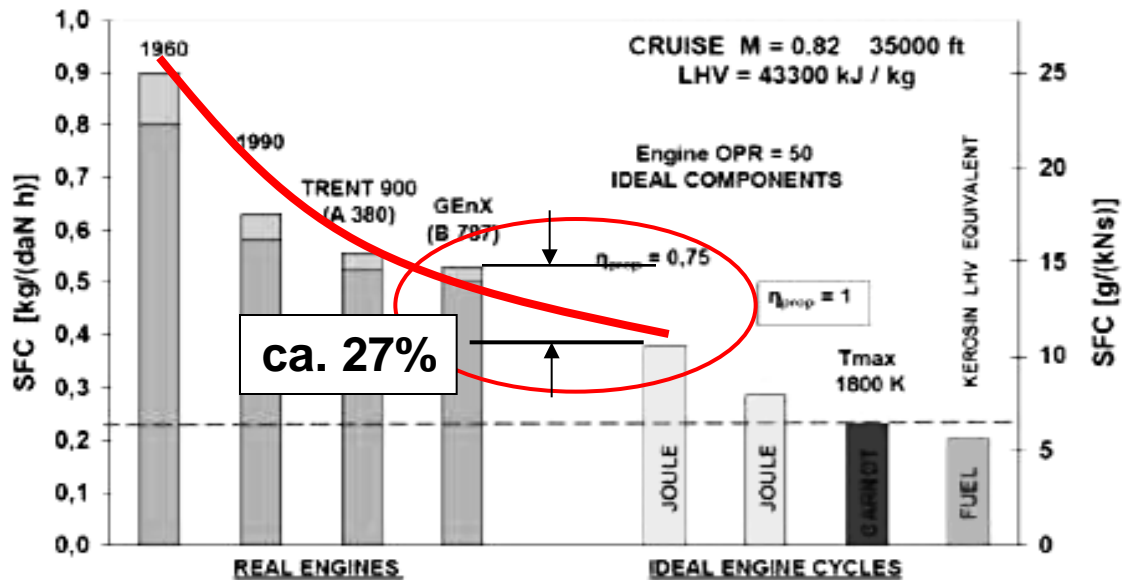
Erwartete Leermassenreduktion der 787 gegenüber der 777 soll bei 3% liegen durch Erhöhung des CFK-Anteils von 10% auf rund 50%

CFK-Materialien liefern nicht automatisch eine Massenreduktion!

Vielmehr müssen erhebliche Anstrengungen zu einem Material gerechten Konstruieren unternommen werden.

# Technische Lösungsansätze und Perspektiven

## Beiträge der Flugzeugsysteme zum umweltverträglichen Luftverkehr



Das Erschließen dieses Potentials wird erleichtert, wenn Prozess-Störgrößen wie Sekundärenergie- und Zapfluftentnahmen zurückgefahren werden.

Entwicklung des Kraftstoffverbrauchs und theoret. Minimum

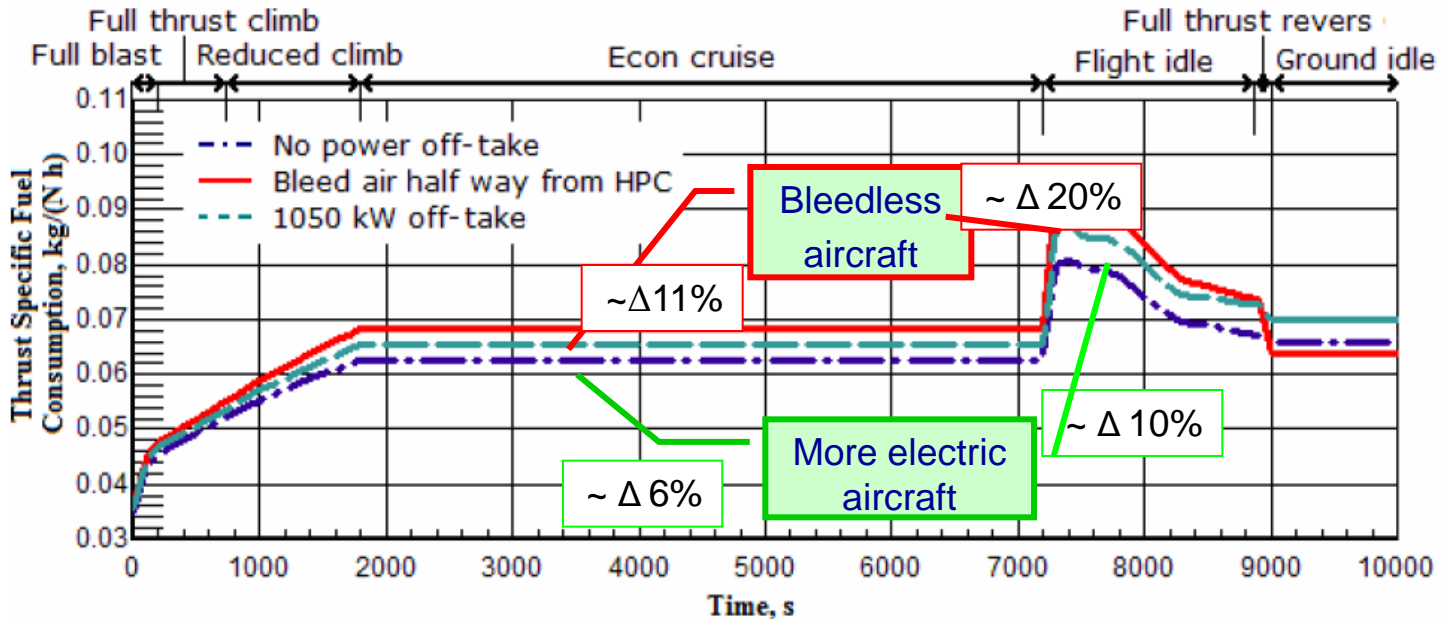
(study by Tech University of Delft, Sep '07, AIAA paper 2007-7848)

Es besteht noch ein Restpotential von ca. 27% zur Verminderung des Kraftstoffverbrauchs durch Triebwerks- und Systemverbesserungen

Diagramm-Quelle: BMU-Studie „Zusammenfassende Darstellung der Effizienzpotentiale...“ / T.C.Gmelin et al.

# Technische Lösungsansätze und Perspektiven

## Beiträge der Flugzeugsysteme zum umweltverträglichen Luftverkehr



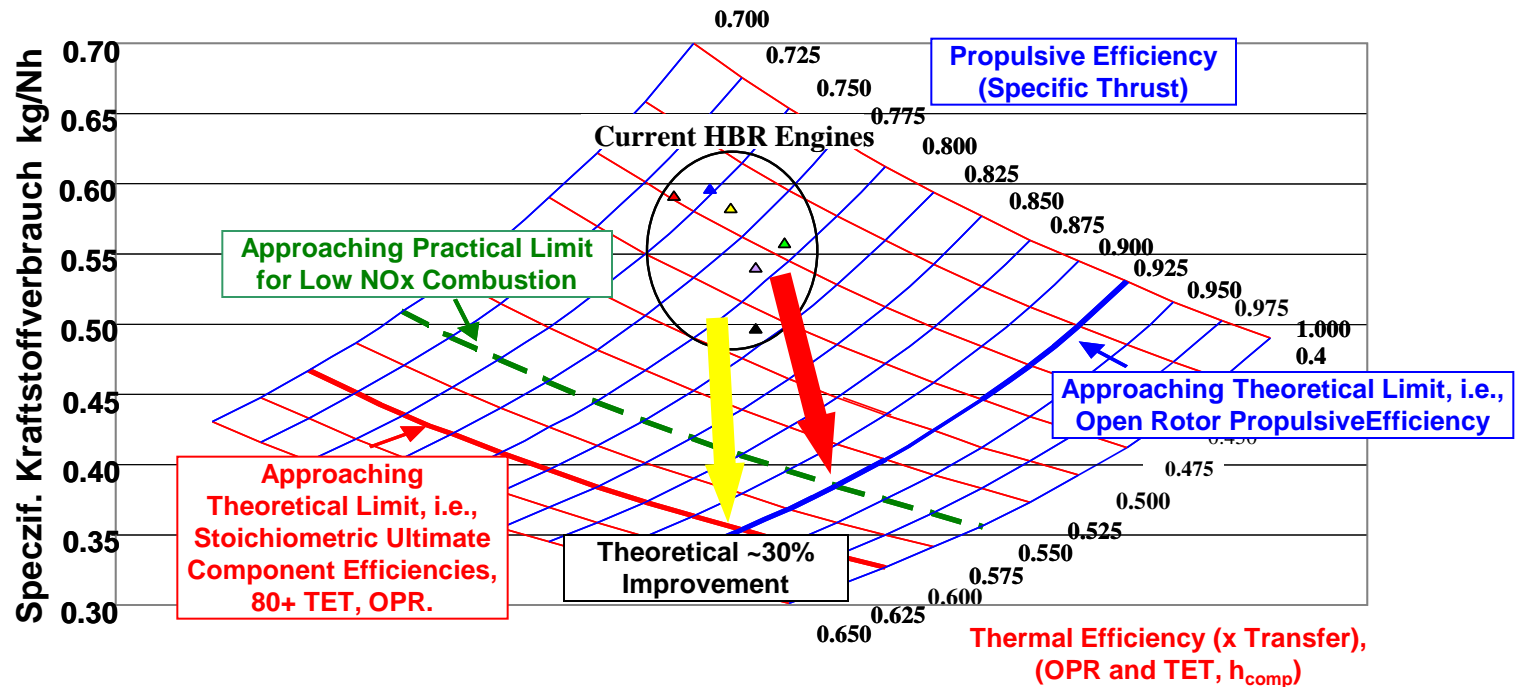
### Kraftstoffverbrauch über der Flugmission – Anteile der Zapfluftentnahme und Wellenleistung

Verzicht auf Entnahme von Zapfluft und Wellenleistung erfordert die Entwicklung neuer bordautonomer Klimasysteme und elektr. Systeme

(study by Tech University of Delft, Sep '07, AIAA paper 2007-7848)

# Technische Lösungsansätze und Perspektiven

## Beiträge der Antriebstechnik - Grenzen der Triebwerksoptimierung



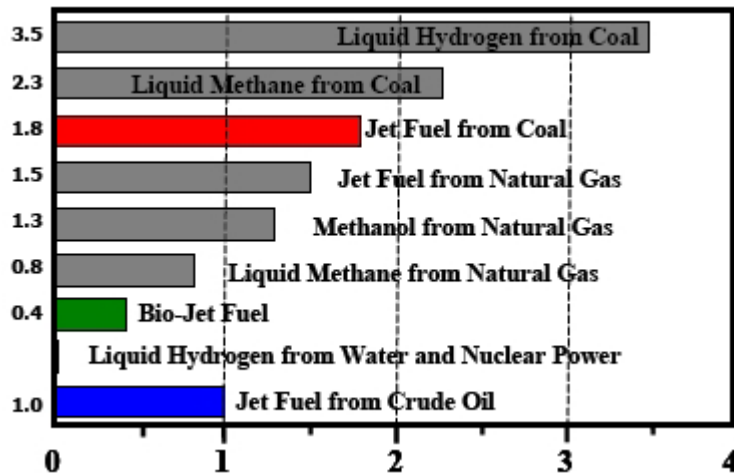
**Ultra High By-Pass Fans >12** (Grenze resultiert aus Umfangsgeschwindigkeiten und Baugröße)

**Hochfeine Verbrennungssteuerung** (Grenze durch Einspritzdüsen, Tröpfchengröße und Verteilung)

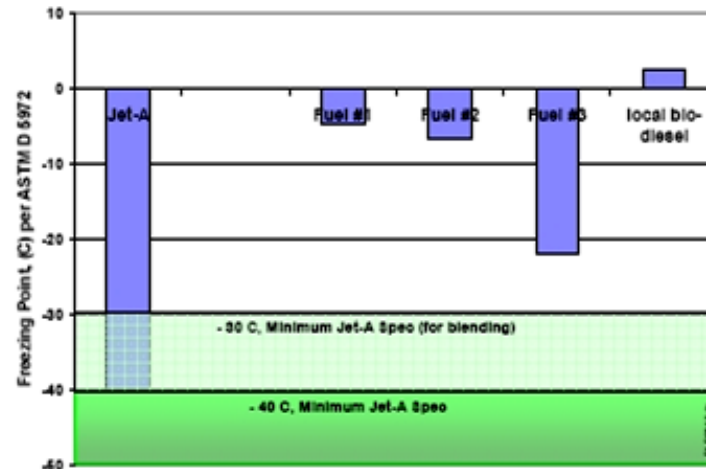
**Maximale Stufenbelastungen** thermisch und durch Druck (Grenze durch Materialfestigkeit einteiliger Laufräder)

# Technische Lösungsansätze und Perspektiven

## Beiträge der Antriebstechnik – Alternative Kraftstoffe



Relative CO<sub>2</sub> Emissionen im Vergleich zu Jet A-1



Reine Biokraftstoffe nähern sich den Tieftemperaturanforderungen

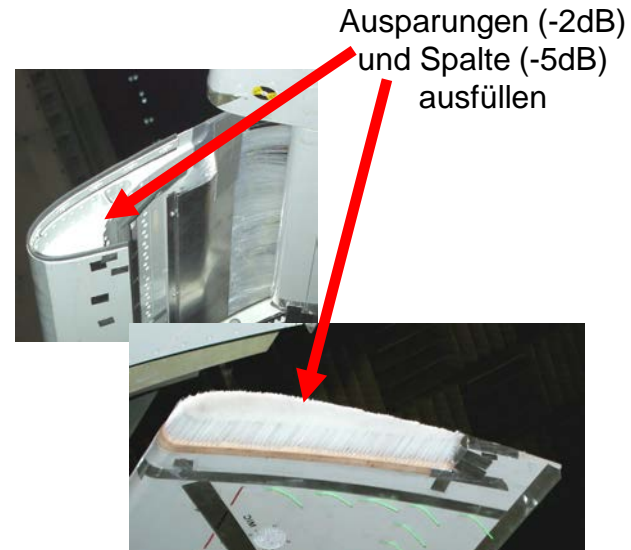
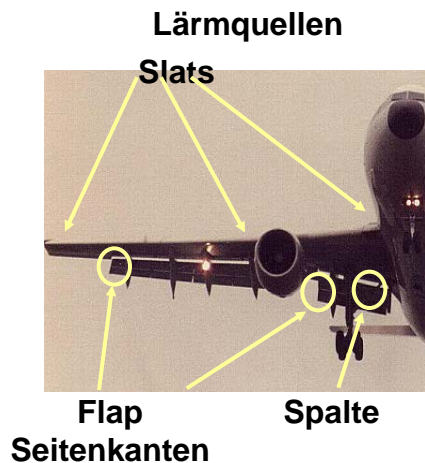
**Fischer-Tropsch Verfahren generiert höhere CO<sub>2</sub>-Emissionen während der Herstellung**  
**Bio-Kraftstoffe generieren insgesamt weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen**

**Energiedichte und Tieftemperaturbeständigkeit sind die Schlüsselfaktoren für den künftigen Erfolg!**

# Technische Lösungsansätze und Perspektiven

## Beiträge der Aerodynamik - Laminarhaltung Flügel und Leitwerke

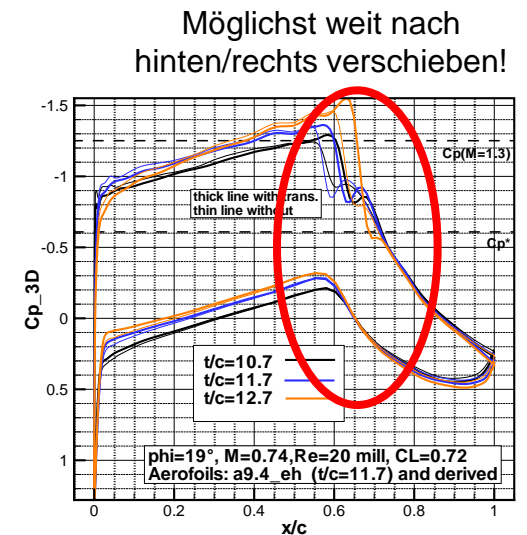
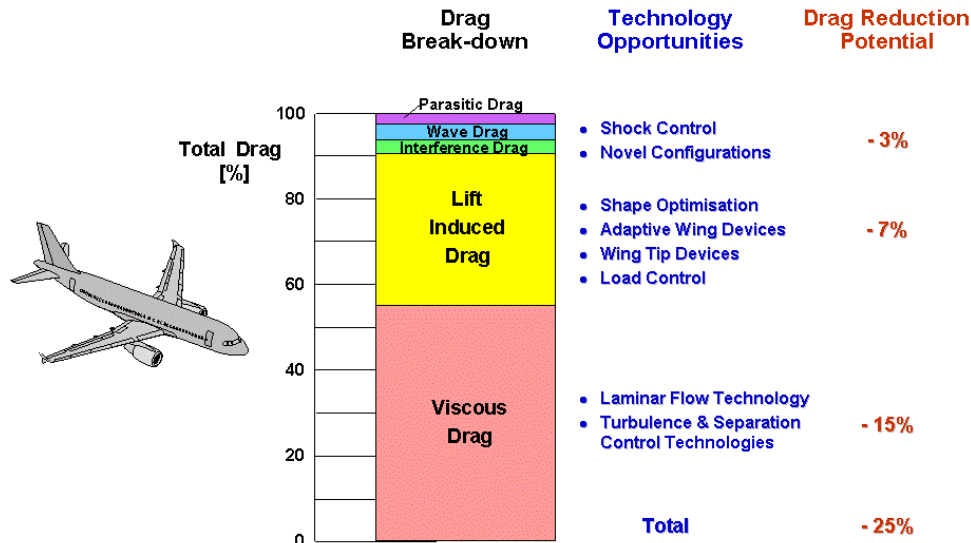
Verbesserung der **Hochauftriebssysteme** für Start und Landung vermindert **Schadstoffproduktion** und **Lärm**



# Technische Lösungsansätze und Perspektiven

## Beiträge der Aerodynamik - Laminarhaltung Flügel und Leitwerke

Verbesserung der aerodynamischen Güte/Gleitzahl  $A/W$  ( $L/D$ ) durch **Laminarhaltung** vermindert im wesentlichen die **Schadstoffproduktion** durch reduzierten **Kraftstoffverbrauch**



Druckverteilung über der Flügeltiefe für laminare Strömungen

Widerstandsreduktion im Reiseflug: Theoretisches Potential: ca. 15-20%

Technisches Problem bei der Realisierung: Erhalt einer extrem glatten Oberfläche an den Leitwerken und Flügeln → Natürliche und künstliche Laminarhaltung



# Technische Lösungsansätze und Perspektiven

## Beiträge der Aerodynamik – Laminarhaltung Flügel und Leitwerke

### Hybrid Laminar Flow

- ✈ Sehr komplexes System (Proof of Concept)
- ✈ Alternatives Systemauslegung
- ✈ Zusätzliches System

### Natürliche Laminarströmung

- ✈ Optimierte Flügelauslegung
- ✈ Empfindlichkeit gegen Störungen
- ✈ Missionsanpassung (Geschwindigkeit / Kraftstoffverbrauch)

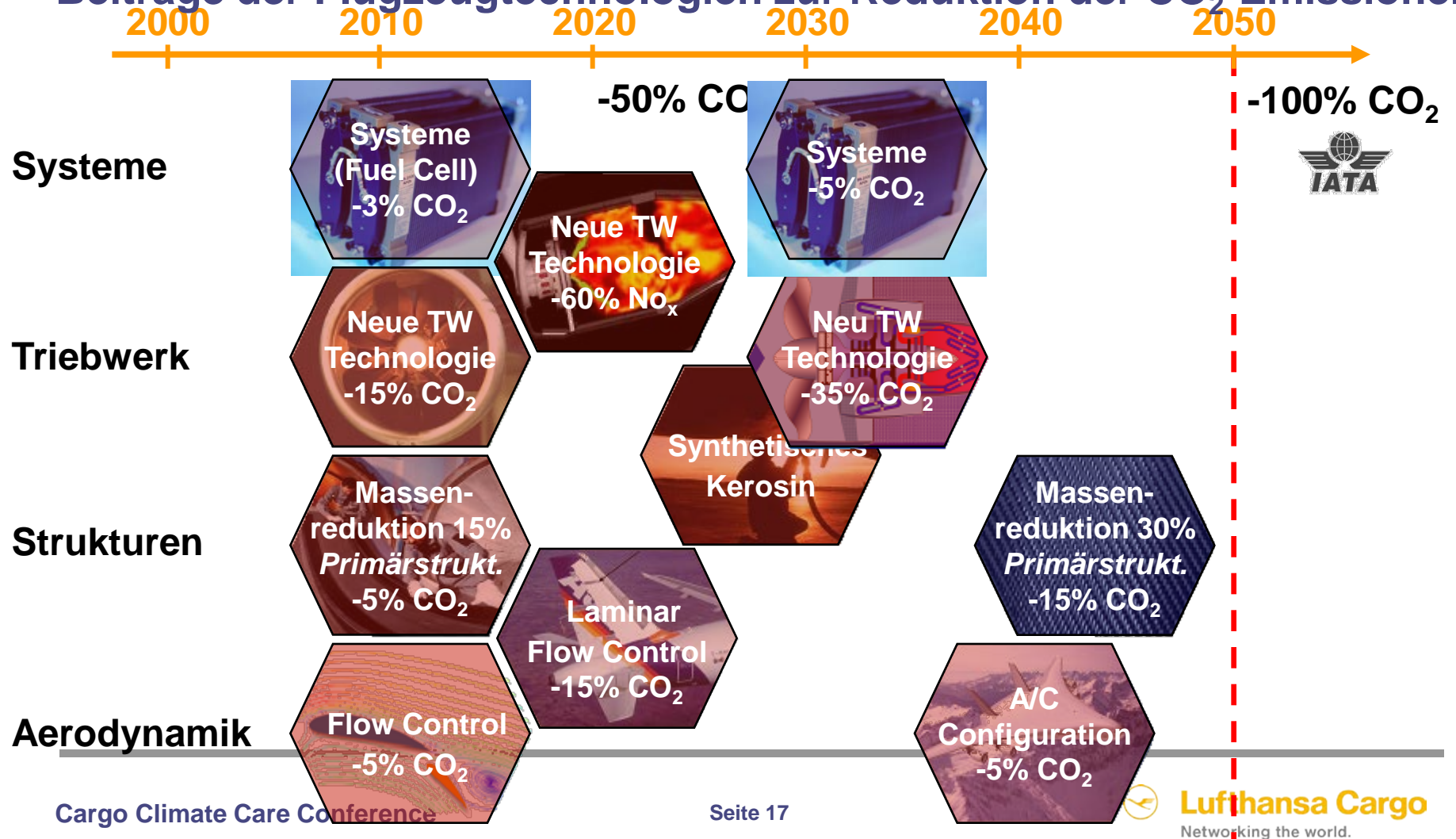
### Operationelle Aspekte

- ✈ Oberflächenverschmutzung / Enteisierung
- ✈ Oberflächenqualität und Systemintegrität



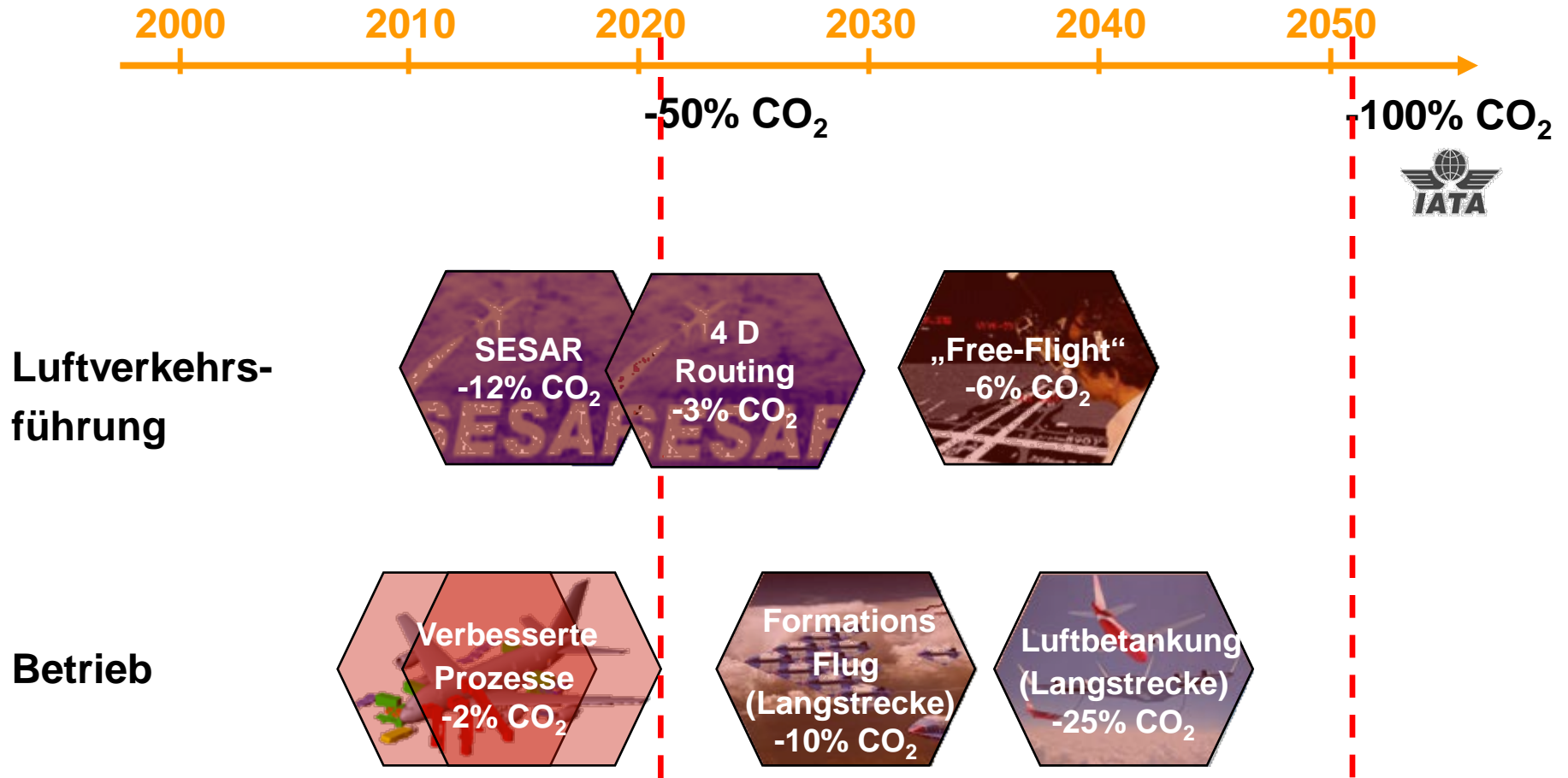
# Technische Lösungsansätze und Perspektiven

## Beiträge der Flugzeugtechnologien zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen



# Technische Lösungsansätze und Perspektiven

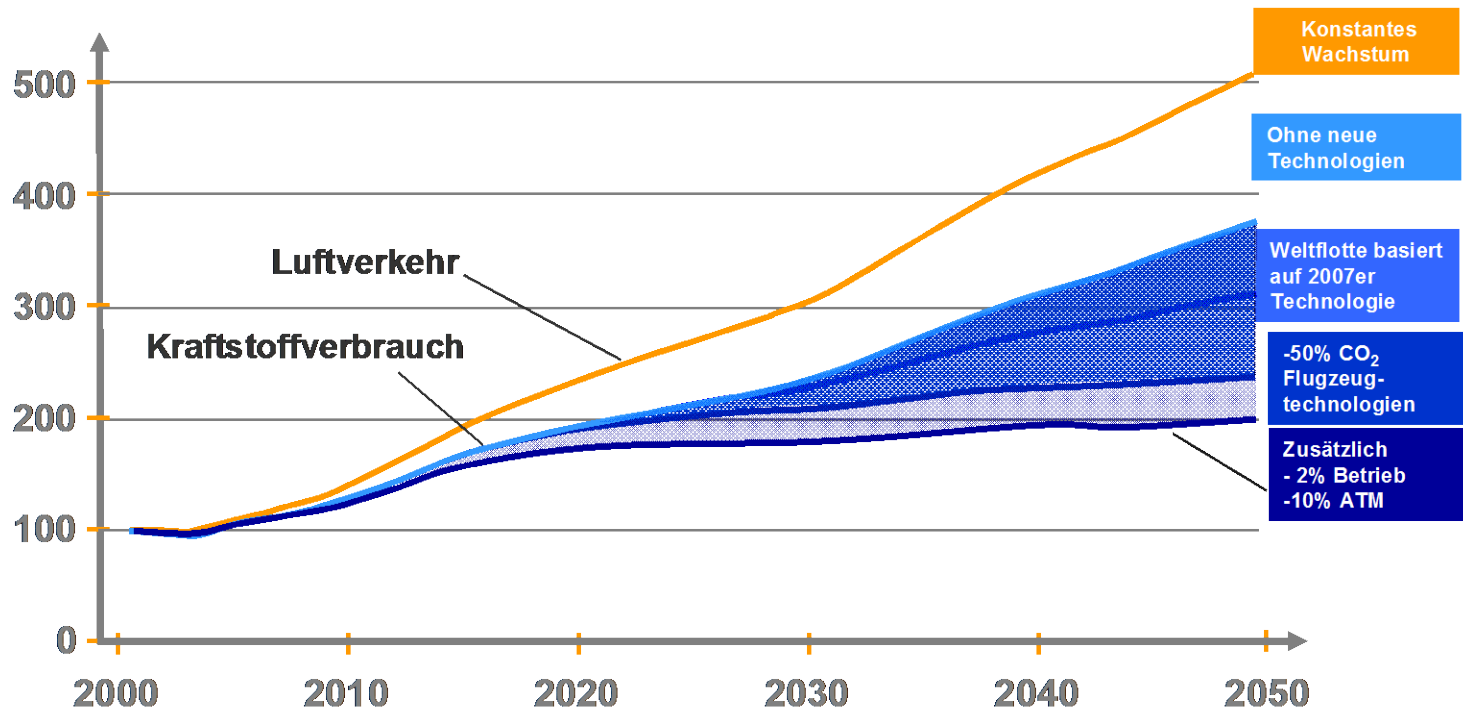
## Beiträge des Betriebs zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen



# Technische Lösungsansätze und Perspektiven

## Beitrag der ACARE-Ziele zur CO<sub>2</sub>-Reduktion

Index (100 = Year 2000)



# Zusammenfassung

---

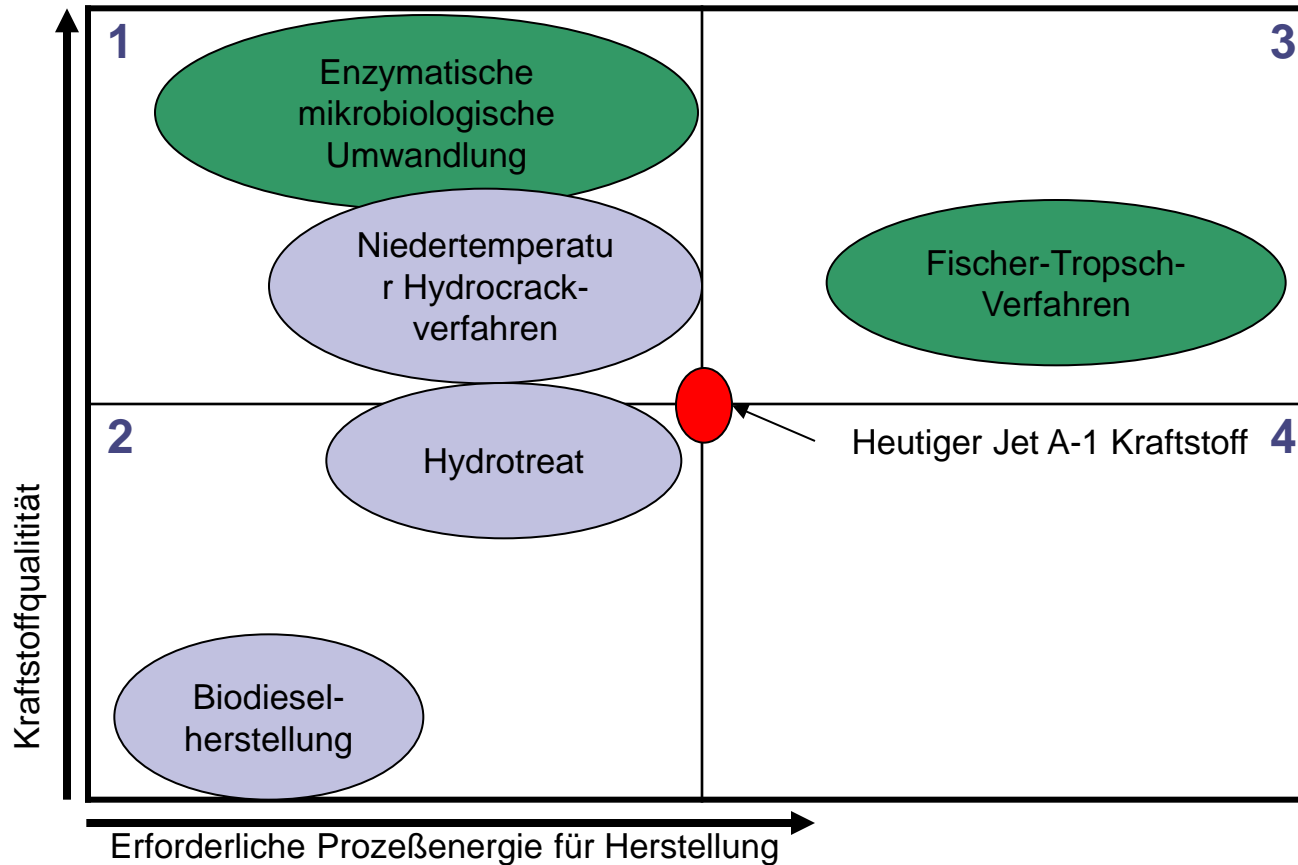
- ✈ **Kraftstoffkosten** und **Lärm** sind die Schlüsselfaktoren für den zukünftigen Erfolg des Luftfrachtverkehrs in einem verschärften Wettbewerb
  - ✈ **Neue leichtere Materialien** liefern Potential zur **Massenreduktion**, derzeit verbunden mit überproportionalen **Produktionskosten und –risiken** → B787
  - ✈ Neue bordautonome **Systemtechnologien** können die Triebwerke entlasten und den **Kraftstoffverbrauch** deutlich senken
  - ✈ **Triebwerkstechnologien** zeigen erste physikalische **Grenzen** am Horizont
  - ✈ **Aerodynamik** kann durch **Laminarhaltung** und Spaltverminderungen **Widerstand** und **Lärm** deutlich senken, notwendige Systemtechnik ist der Schlüssel zum Erfolg
  - ✈ **Alternative Kraftstoffe** müssen **Energiedichte** und **Temperaturbeständigkeit** erfüllen
  - ✈ **Umweltfreundliche, effiziente Luftfracht** erfordert **junge Flugzeuge** und **missionsspezifische Auslegungen** der Frachtflugzeuge
-

---

# Zusatzfolien

# Technische Lösungsansätze und Perspektiven

## Beiträge der Antriebstechnik – Alternative Kraftstoffe





# Technische Lösungsansätze und Perspektiven

## Beiträge der Antriebstechnik – Alternative Kraftstoffe

Fuel	Density kg/m <sup>3</sup>	Energy MJ/kg	Energy MJ/L	Freeze pt, °C
Jet A-1	800	43.2	34.8	<-47
Ethanol	790	27.7	22.0	<-115
FAME	880	37.5	33.0	-5
GTL kero	740	44.0	32.5	<-50
Hydrogen	70	120	8.4	-259!

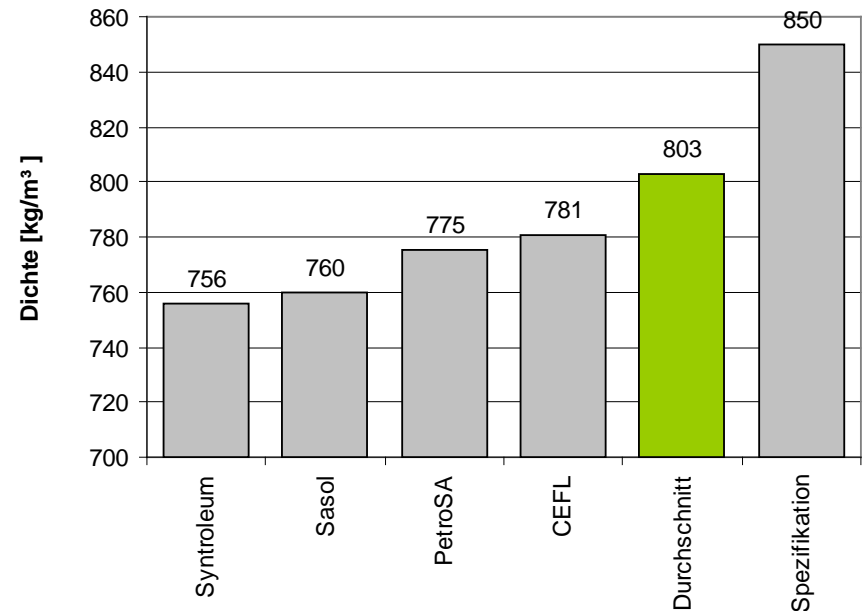
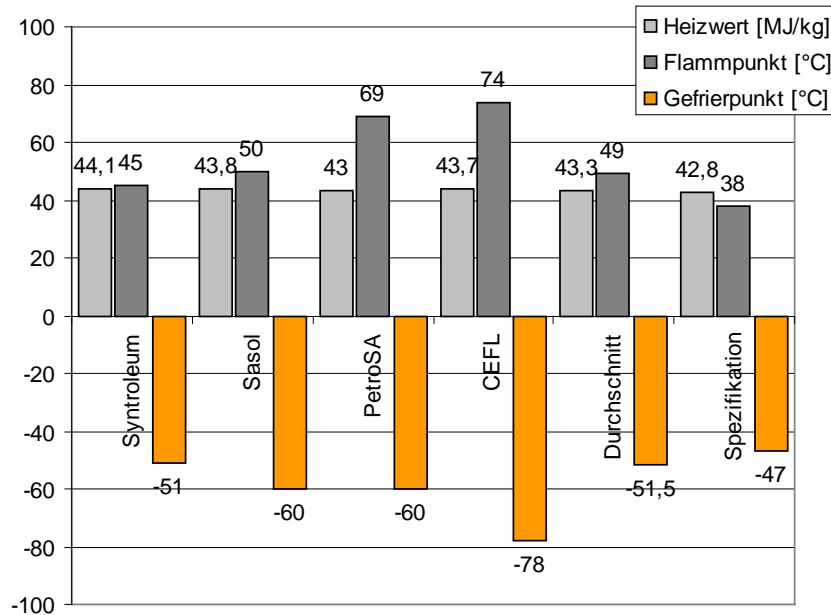
# Technische Lösungsansätze und Perspektiven

## Beiträge der Flugzeugsysteme zum umweltverträglichen Luftverkehr

	Reduktion von CO <sub>2</sub> und NO <sub>x</sub>	Reduktion weiterer Emissionen	Reduktion von Lärm
<b>System - Auslegung</b>			
Elektrische Systeme	✓	✓	
Energie - Management	✓		
Aerodyn. Design			✓
<b>Betrieb</b>			
Bodenbetrieb	✓		✓
Trajektorien Management	✓		✓
<b>Fertigung u. Entsorgung</b>			
Materialien	✓	✓	
Life Cycle Management	✓	✓	

# Technische Lösungsansätze und Perspektiven

## Beiträge der Antriebstechnik – Alternative Kraftstoffe



Synthetische Kerosine/Kraftstoffe weisen zum Teil bessere Energiedichten, Heizwerte und Temperaturfestigkeiten auf als klassisches Kerosin Jet A-1